

## FPGA を用いたナトリウムライダー高精度観測のためのカウンタ開発

池田将之 川原琢也

信州大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻

Development of a lidar photocounter with a FPGA  
for high temporal resolution observations of the Sodium lidar

Masayuki Ikeda, Takuya D. Kawahara

Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

**Abstract:** We developed a new sodium lidar (4W, repetition rate 1 kHz) and installed it at Tromso, Norway. The lidar temperature/wind observation needs three-frequency operation by switching the frequencies in series. Currently the switching is done with 1 min because of the low response of the mechanical shutter in the laser line. To improve this, we designed a fast switching system with acousto-optic (AO) devices. It is controlled pulse by pulse operated with a originally programed FPGA board. Further, using the same FPGA board, a photocounter is being developed. The concept is that it can be operated with pulse by pulse data acquisition with altitude resolution of 0.64  $\mu\text{sec}$  (96 m) bins. In the first step, we simulated a FPGA logic circuit on a PC demonstrating an AO frequency switching and the photocounter. In this talk, we show the simulation results and demonstrate the FPGA board we made.

**Keywords:** sodium lidar, Tromso, FPGA, AO frequency shifter

はじめに

信州大学、名古屋大学、理化学研究所は高出力高安定ナトリウムライダーを開発し、2010 年 EISCAT レーダーサイト (Tromso, Norway, 北緯 69.6°) に設置した。2010 年秋から行われている観測は、現在までに 4 シーズン目の観測を終え、観測成果をあげてきた。本ライダーに用いているレーザは従来にない高出力 (4W)、数分という高時間分解能で中間圏界面の大気温度、風速を同時に測定することが可能である。これまでの観測研究に加え、ナトリウムライダーによる大気温度構造観測を行うことで、極域大気科学の理解を飛躍的に前進させることが期待できる。本論文は北極観測用ナトリウムライダーにおいて、高出力レーザを用いた観測システムを最適化する AO (音響光学素子) を用いた周波数切替システム及びカウンタの構築についてまとめたものである。

我々は中間圏界面 (上空 80-110km) にあるナトリウム原子層をターゲットに、パルスレーザ光を光源に用いた観測を行っている。レーザ光 (589.1583nm) はナトリウム層を上空に進むごとに各高度で共鳴散乱をし、散乱光は高度毎に時間差をもって地上に到達する。天体望遠鏡で集光した光は光電子増倍管 (PMT) によって電気信号に変換される。レーザは、共鳴散乱断面積の NaD2a 周波数内で周波数をごくわずかに変えて 3 周波数交互に射出される。現在の周波数切り替え間隔は 1 分である。周波数毎の信号光強度比からナトリウム密度、背景温度、風速を求めることができる。すなわち、レーザの周波数制御が本ライダーの極めて重要な技術要素となる。

現在使用している周波数シフターは±シフトの 2 つの AO から校正され、変換されない光の遮光には 1 枚羽のシャッターを用いている。このシャッターの動作速度が遅く、trigger から遮光までの時間が 1-2 秒かかるので切り替えから 5 秒後までのデータを捨てている。周波数の切り替え間隔は 1 分である。これに対し、ライダーの性能を最大限に引き出すために 1 パルス(1msec)ごと周波数切り替えが出来るシステムの構築を始めた。このシステムではシャッターにも AO を用いる。図 1 にはこの周波数シフターを示す。周波数シフターは、AO を 4 台用いる。入力レーザ側から前段の 2 つ AO(+)\_s、AO(-)\_s が周波数シフト用で、後段の AO(+)\_c、

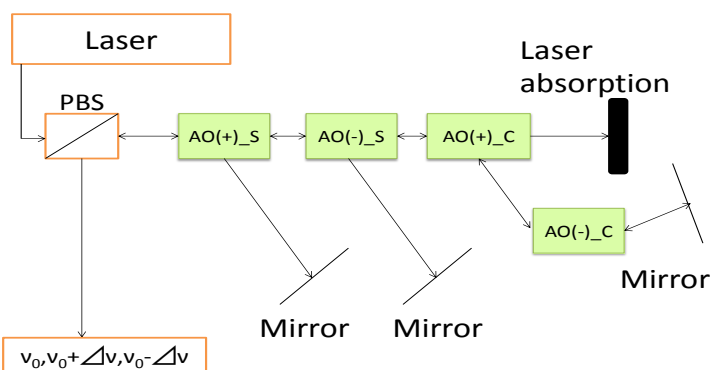


Fig.1. Schematics of the AO frequency shifter

AO(-)\_c がレーザ遮蔽と周波数補正をおこなう。周波数の切り替えタイミングを厳密に行うために、その on/off のトリガー制御を FPGA で行うことにした。この構想に基づく AO のトリガー制御のため FPGA 用の制御プログラムのシミュレーションを行った。

レーザ周波数制御のための AO の動作に必要なトリガーon/off を Table1 に示す。レーザ射出に応じて周波数が切り替わる。レーザ射出に応じたタイミングチャートを FPGA のシミュレーターを用いて製作したクロック信号の入力に対し、Table1 のように順次 TTL 信号を出力するプログラムを構築した。

Table1.AO trigger for the frequency shift.

	AO(+)_S	AO(-)_S	AO(+)_C	AO(-)_C
$v_0$	OFF	OFF	ON	ON
$v_0 + \Delta v$	ON	OFF	OFF	OFF
$v_0 - \Delta v$	OFF	ON	OFF	OFF

ライダー観測では、望遠鏡で受信した光子は光電子増倍管(Hamamatsu H7421-40)により光電変換されパルス幅 30nsec の方形波信号としてカウンタに入力する。カウンタでは高度 0-150 km の範囲を一定の高度範囲に分割し（カウンタでの距離分割幅または時間幅を bin という）、1 パルスのレーザ射出毎に高度方向に分割した各 bin 幅内に入射するフォトン数の計測を行う。このため、市販のカウンタでは使用できない。そこで、bin 設定がユーザー設定で自由にカスタマイズ出来るカウンタを FPGA で構築する。まず、FPGA シミュレーションを行った。bin 内の信号パルス数を計測するカウンタの構築を行った。カウンタは、内部クロックの立ち上がり（5nsec）毎に信号パルスの計測をするため、パルス幅が 30nsec の信号パルスだと複数カウントをしてしまう。そのため、信号パルスとそれを反転/遅延(5nsec)させた信号との AND をとった波形（幅 5nsec）を生成し、その信号を計測する様にした。Fig.2 は、FPGA のシミュレーションソフトを使用したものであり、上段から、①内部クロック(200MHz)、②疑似 laser（受信信号パルス）、③は②の立ち上がりで 5nsec 幅に整形したパルスを表す。この③のパルス数をメモリーに順次記録していくことが出来ることを確認した。

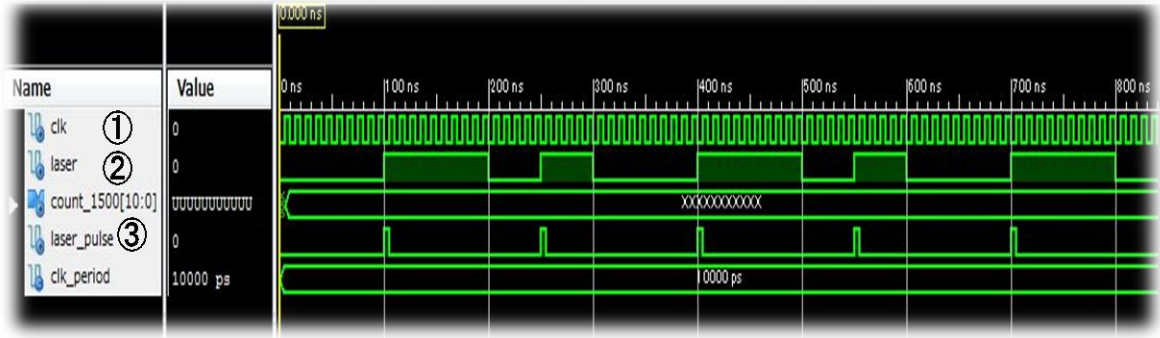


Fig.2.Result of Counter simulation

FPGA シミュレーターを使用し、周波数切替のための AO のタイムチャートの製作、カウンタ構築を行った。パルス毎に必要な高度分の bin カウントを行い、周波数が切り替わってもデータが混乱しないように蓄積していくアルゴリズムを今後検証していく。また、現状カウンタ構築のシミュレーションでの動作確認はできているが、FPGA に焼き込みを行い動作確認する必要がある。